

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

①

(11)Publication number : 2003-283571

(43)Date of publication of application : 03.10.2003

(51)Int.Cl. H04L 12/66
G06F 13/00
H04L 12/46

(21)Application number : 2002-079728 (71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP
<NTT>

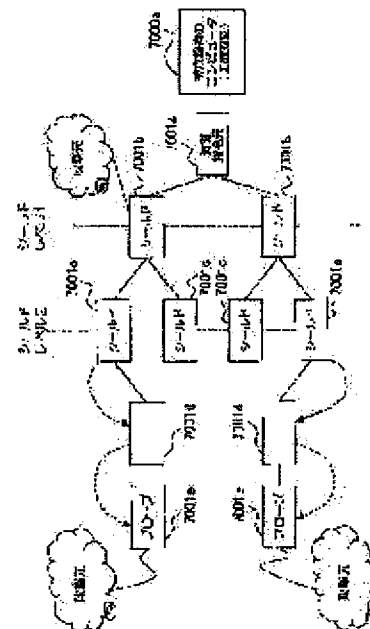
(22)Date of filing : 20.03.2002 (72)Inventor : ERIC CHEN

(54) DEFENSIVE METHOD AND APPARATUS AGAINST DISABILITY-OF- SERVICE ATTACK,
AND COMPUTER PROGRAM THEREFOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a defensive method with which defense is made possible by detecting more kinds of attacks and the communication band of a network is prevented from being wasted by traffic caused by the attack.

SOLUTION: In order to defense a computer 7000a of a person to be attacked, shields 7001b and 7001c distributed with a variable level number are located. Each of the shields analyzes a packet associated with the computer 7000a of the person to be attacked, narrows down the band of suspicious traffic by an examination and detects the attack. When the attack is detected, each shield transfers the program of a probe toward the upstream of the attack. When the packet of the attack is found out, a probe 7001e discards the packet and transfers the program of the probe toward the further upstream side.



[0044] A third specific example is to examine utilizing a distribution of source addresses of communication packets.

5 If observing in a normal state for a certain prolonged time, the distribution of source addresses of communication packets should be almost constant. However, in case of DDoS attacking, a source address is spoofed using an address that has been randomly selected. Thus, when the

10 variance level of source addresses is abnormally high, in other words, if randomness is high, an attack can be detected. FIG. 5(a) and (b) are graphs illustrating distribution states of source IP addresses, respectively. FIG. 5(a) illustrates a distribution example in a normal

15 state and FIG. 5(b) illustrates a distribution example when receiving DDoS attacking. Each horizontal axis denotes IP address and each vertical axis denotes the number of appearances (or appearance frequency is also acceptable) of communication packets. As illustrated in FIG. 5(a), there

20 is a concentrating tendency on specific addresses such that only a small number of specific source addresses have a large number of appearances while the number of appearances of communication packets for other source addresses is small or zero. By contrast, as illustrated in FIG. 5(b),

25 in case of the DDoS attacking, addresses are randomly selected for spoofing, so that all the source addresses have uniformly the large number of the appearances. Namely, the variance level of the distribution of the number of appearances in a space of the IP addresses is large.

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2003-283571

(P2003-283571A)

(43)公開日 平成15年10月3日(2003.10.3)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-マコード*(参考)
H 0 4 L 12/66		H 0 4 L 12/66	B 5 B 0 8 9
G 0 6 F 13/00	3 5 1	G 0 6 F 13/00	3 5 1 Z 5 K 0 3 0
H 0 4 L 12/46		H 0 4 L 12/46	E 5 K 0 3 3

審査請求 有 請求項の数16 O L (全 22 頁)

(21)出願番号 特願2002-79728(P2002-79728)

(22)出願日 平成14年3月20日(2002.3.20)

特許法第30条第1項適用申請有り

(71)出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区大手町二丁目3番1号

(72)発明者 エリック・チェン

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日

本電信電話株式会社内

(74)代理人 100064908

弁理士 志賀 正武 (外2名)

Fターム(参考) 5B089 GA04 GB02 KA17 KB13 KC05

KC39 KC47 KC51 MC08

5K030 GA15 HA08 HD03 JA10 KX24

LC14 LC15 MB09

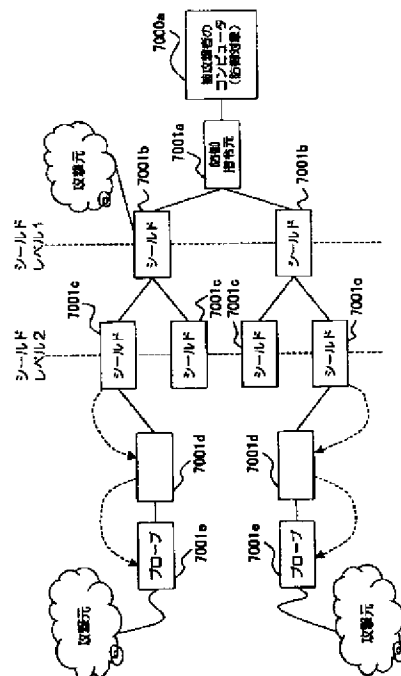
5K033 AA08 BA08 CB08 DB20 EC03

(54)【発明の名称】 サービス不能攻撃の防御方法および装置ならびにそのコンピュータプログラム

(57)【要約】

【課題】 より多くの種類の攻撃を検知して防御することのできる防御方法を提供する。また、攻撃によるトラフィックがネットワークの通信帯域を浪費しないような防御方法を提供する。

【解決手段】 被攻撃者のコンピュータ7000aを防御するため、可変なレベル数で分散されたシールド7001b、7001cを配置する。これらシールドは、被攻撃者のコンピュータ7000aに関連するパケットを分析し、検査によって、疑わしいトラフィックの帯域を絞るとともに、攻撃の検出を行う。攻撃が検出されると、シールドは、プローブのプログラムを攻撃の上流に向かって転送する。プローブ7001eは、攻撃のパケットを見つけるとそのパケットを破棄するとともに、さらに上流に向かってプローブのプログラムを転送する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 複数の通信装置によって構成されるネットワークに接続された防御対象コンピュータをサービス不能攻撃から防御するための防御方法であって、前記防御対象コンピュータに最も近い通信装置であるところの境界通信装置からの指令情報に基づいて、当該境界通信装置から所定の段数分の範囲内に接続されているシールド通信装置が、当該シールド通信装置に到着する通信パケットを分析する分析処理を行い、この分析処理の結果に応じて当該通信パケットが前記防御対象コンピュータに対する攻撃の通信パケットである可能性に応じて当該通信パケットの優先度を決定してこの優先度に応じて当該通信パケットを転送先に転送するとともに、前記分析処理の結果当該通信パケットが確実に前記防御対象コンピュータに対する攻撃の通信パケットであることが判明した場合には当該通信パケットを破棄するシールド過程を有することを特徴とするサービス不能攻撃の防御方法。

【請求項2】 請求項1に記載のサービス不能攻撃の防御方法であって、前記境界通信装置から最も遠い位置にある前記シールド通信装置との間の接続の段数として2以上を許容するとともに、当該段数を動的に変更できるようにしたことを特徴とするサービス不能攻撃の防御方法。

【請求項3】 請求項1に記載のサービス不能攻撃の防御方法であって、前記シールド過程において前記通信パケットが確実に前記防御対象コンピュータに対する攻撃の通信パケットであることが判明した場合に、前記シールド通信装置がより攻撃元に近い側の隣接する通信装置に対してプローブプログラムコードを送信するプローブプログラムコード送信過程と、前記プローブプログラムコードを受信したプローブ通信装置が、当該プローブプログラムコードを実行することによって、当該プローブ通信装置に到着する通信パケットを分析し、その結果当該通信パケットが前記防御対象コンピュータに対する攻撃の通信パケットである場合には当該通信パケットを破棄するとともにさらに攻撃元に近い側の隣接する通信装置に対して前記プローブプログラムコードを送信し、分析の結果一定時間攻撃のパケットが検知されない場合には前記プローブプログラムコードの処理を終了させるプローブ過程とをさらに有することを特徴とするサービス不能攻撃の防御方法。

【請求項4】 請求項3に記載のサービス不能攻撃の防御方法であって、前記プローブ過程においては、宛先アドレスが前記防御対象コンピュータのアドレスである通信パケットを捕捉し、当該通信パケットの送信元アドレスが予め得られた攻撃元のアドレスと同一である場合には当該通信パケットが攻撃のパケットであると判定し、その他の場合には

当該通信パケットは攻撃のパケットではないと判定することを特徴とするサービス不能攻撃の防御方法。

【請求項5】 請求項3に記載のサービス不能攻撃の防御方法であって、

前記プローブ過程においては、宛先アドレスあるいは送信元アドレスの少なくともいずれか一方が前記防御対象コンピュータのアドレスである通信パケットを捕捉し、

a) 当該通信パケットの送信元アドレスが予め得られた攻撃元のアドレスと同一である場合、又は、

10 b) 当該通信パケットの送信元アドレスが前記防御対象コンピュータのアドレスであって且つ当該通信パケットの宛先アドレスが前記攻撃元アドレスのブロードキャストアドレスである場合、

には、当該通信パケットが攻撃のパケットであると判定し、

上記a)あるいは上記b)のいずれにも該当しない場合には当該通信パケットは攻撃のパケットではないと判定することを特徴とするサービス不能攻撃の防御方法。

【請求項6】 請求項1に記載のサービス不能攻撃の防御方法であって、

20 前記シールド過程内の前記分析処理においては、予め正常時に得ておいたパラメータの値を含んだログ情報を用いて、検査時のパラメータの値と前記ログ情報とを比較することによる動的検査の処理を行うことを特徴とするサービス不能攻撃の防止方法。

【請求項7】 防御対象コンピュータをサービス不能攻撃から防御するための防御方法の処理を実行するシールド通信装置であって、

前記防御対象コンピュータに最も近い通信装置であるところの境界通信装置からの指令情報に基づいて、当該シールド通信装置に到着する通信パケットを分析する分析処理を行い、この分析処理の結果に応じて当該通信パケットが前記防御対象コンピュータに対する攻撃の通信パケットである可能性に応じて当該通信パケットの優先度を決定してこの優先度に応じて当該通信パケットを転送先に転送するとともに、前記分析処理の結果当該通信パケットが確実に前記防御対象コンピュータに対する攻撃の通信パケットであることが判明した場合には当該通信パケットを破棄する処理を実行することを特徴とするシールド通信装置。

【請求項8】 請求項7に記載のシールド通信装置であって、

前記分析処理においては、予め正常時に得ておいたパラメータの値を含んだログ情報を用いて、検査時のパラメータの値と前記ログ情報とを比較することによる動的検査の処理を実行することを特徴とするシールド通信装置。

【請求項9】 防御対象コンピュータをサービス不能攻撃から防御するための防御方法の処理を実行するプローブ通信装置であって、

シールド通信装置によって防御対象コンピュータに対する攻撃の通信パケットが検出されたとき、当該シールド通信装置からプローブプログラムコードを受信し、当該プローブプログラムコードを実行することによって、当該プローブ通信装置に到着する通信パケットを分析し、その結果当該通信パケットが前記防御対象コンピュータに対する攻撃の通信パケットである場合には当該通信パケットを破棄するとともにさらに攻撃元に近い側の隣接する通信装置に対して前記プローブプログラムコードを送信し、分析の結果一定時間攻撃のパケットが検知されない場合には前記プローブプログラムコードの処理を終了させるプローブ過程の処理を実行することを特徴とするプローブ通信装置。

【請求項10】 請求項9に記載のプローブ通信装置であって、前記プローブ過程の処理においては、宛先アドレスが前記防御対象コンピュータのアドレスである通信パケットを捕捉し、当該通信パケットの送信元アドレスが予め得られた攻撃元のアドレスと同一である場合には当該通信パケットが攻撃のパケットであると判定し、その他の場合には当該通信パケットは攻撃のパケットではないと判定することを特徴とするプローブ通信装置。

【請求項11】 請求項9に記載のプローブ通信装置であって、前記プローブ過程の処理においては、宛先アドレスあるいは送信元アドレスの少なくともいずれか一方が前記防御対象コンピュータのアドレスである通信パケットを捕捉し、

a) 当該通信パケットの送信元アドレスが予め得られた攻撃元のアドレスと同一である場合、又は、
b) 当該通信パケットの送信元アドレスが前記防御対象コンピュータのアドレスであって且つ当該通信パケットの宛先アドレスが前記攻撃元アドレスのブロードキャストアドレスである場合、
には、当該通信パケットが攻撃のパケットであると判定し、

上記a)あるいは上記b)のいずれにも該当しない場合には当該通信パケットは攻撃のパケットではないと判定することを特徴とするプローブ通信装置。

【請求項12】 防御対象コンピュータをサービス不能攻撃から防御するための防御方法の処理を実行する通信装置であって、

ネットワーク側から到着する通信パケットを捕捉する到着パケット捕捉部と、

前記通信パケットに対して作用を及ぼすコンピュータプログラムの処理を行うアクティブネットワーク実行環境部と、

複数のクラスにそれぞれ対応した待ち行列を備えるとともに、前記アクティブネットワーク実行環境部における前記コンピュータプログラムの処理の結果として決定さ

れるクラスに応じて、前記通信パケットをそのクラスに対応する前記待ち行列に入れる処理を行うクラスベースの待ち行列処理部と、

前記クラスベースの待ち行列処理部が備える各々の待ち行列から順次通信パケットを取り出してネットワーク側に送出するパケット送出部と、

前記アクティブネットワーク実行環境部で実行するためのコンピュータプログラムを他の通信装置との間で転送する処理を行うプログラム転送処理部とを備えており、

10 前記アクティブネットワーク実行環境部は、コンピュータプログラムを記憶するコード記憶部と、このコード記憶部に記憶されたコンピュータプログラムを読み出して実行するコード実行部とを備えており、

前記コード記憶部には、

到着する通信パケットの分析を行い、この分析の結果、前記通信パケットが攻撃の通信パケットである可能性に応じて前記通信パケットのクラスを決定するとともに、当該通信パケットが確実に攻撃の通信パケットである場合には当該通信パケットを破棄する処理をコンピュータ

20 に実行させるシールドモジュールと、
到着する通信パケットを分析し、その結果当該通信パケットが前記防御対象コンピュータに対する攻撃の通信パケットである場合には当該通信パケットを破棄する処理をコンピュータに実行させるプローブモジュールと、

前記プローブモジュールの処理をコンピュータが実行した結果、攻撃の通信パケットが見つかった場合に、自己のプログラムコードの複製をさらに攻撃元に近い側の隣接する通信装置に対して送信する処理をコンピュータに実行させる自己複製送信モジュールと、

30 前記プローブモジュールの処理をコンピュータが実行した結果、攻撃の通信パケットが所定時間継続して見つからなかった場合に、自己のプログラムコードを消滅させる処理をコンピュータに実行させる自己消滅モジュールとが少なくとも記憶されていることを特徴とする通信装置。

【請求項13】 複数の通信装置によって構成されるネットワークに接続された防御対象コンピュータをサービス不能攻撃から防御するための防御方法の処理をコンピュータに実行させるコンピュータプログラムであって、

40 前記防御対象コンピュータに最も近い通信装置であるところの境界通信装置からの指令情報に基づいて、当該境界通信装置から所定の段数分の範囲内に接続されているシールド通信装置が、当該シールド通信装置に到着する通信パケットを分析する分析処理を行い、この分析処理の結果に応じて当該通信パケットが前記防御対象コンピュータに対する攻撃の通信パケットである可能性に応じて当該通信パケットの優先度を決定してこの優先度に応じて当該通信パケットを転送先に転送するとともに、前記分析処理の結果当該通信パケットが確実に前記防御対象コンピュータに対する攻撃の通信パケットであること

が判明した場合には当該通信パケットを破棄するシールド過程の処理をコンピュータに実行させるコンピュータプログラム。

【請求項14】 複数の通信装置によって構成されるネットワークに接続された防御対象コンピュータをサービス不能攻撃から防御するための防御方法の処理をコンピュータに実行させるコンピュータプログラムであって、到着する通信パケットを分析し、その結果当該通信パケットが前記防御対象コンピュータに対する攻撃の通信パケットである場合には当該通信パケットを破棄するとともにさらに攻撃元に近い側の隣接する通信装置に対して当該コンピュータプログラム自身を送信し、分析の結果一定時間攻撃のパケットが検知されない場合には当該コンピュータプログラムを終了させるブロープ過程の処理をコンピュータに実行させるコンピュータプログラム。

【請求項15】 請求項14に記載のコンピュータプログラムであって、前記ブロープ過程においては、宛先アドレスが前記防御対象コンピュータのアドレスである通信パケットを捕捉し、当該通信パケットの送信元アドレスが予め得られた攻撃元のアドレスと同一である場合には当該通信パケットが攻撃のパケットであると判定し、その他の場合には当該通信パケットは攻撃のパケットではないと判定する処理をコンピュータに実行させるコンピュータプログラム。

【請求項16】 請求項14に記載のコンピュータプログラムであって、前記ブロープ過程においては、宛先アドレスあるいは送信元アドレスの少なくともいずれか一方が前記防御対象コンピュータのアドレスである通信パケットを捕捉し、
a) 当該通信パケットの送信元アドレスが予め得られた攻撃元のアドレスと同一である場合、又は、
b) 当該通信パケットの送信元アドレスが前記防御対象コンピュータのアドレスであって且つ当該通信パケットの宛先アドレスが前記攻撃元アドレスのブロードキャストアドレスである場合、
には、当該通信パケットが攻撃のパケットであると判定し、
上記a)あるいは上記b)のいずれにも該当しない場合には当該通信パケットは攻撃のパケットではないと判定する処理をコンピュータに実行させるコンピュータプログラム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、通信ネットワークにおいて大量の通信パケット（通信トラフィック）を被攻撃者に向けて送りつけることによって機能障害を引き起こすことを狙った攻撃を防御するための防御方法、およびその防御方法を実現する通信装置ならびにコンピュータプログラムに関する。特に、通信ネットワークに

おけるサービス不能（DoS, Denial of Service）攻撃、とりわけ分散型サービス不能（DDoS, Distributed Denial of Service）攻撃を防御するための技術に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、通信ネットワーク（具体的にはインターネット）において、しばしば著名なウェブサイトに対するDDoS攻撃が行われ、深刻な問題となっている。なお、DDoS攻撃とは、その名が示す通り分散型のDoS攻撃である。DoS攻撃とは、ネットワークに接続されたコンピュータ（ウェブサーバなど）に対して大量の通信トラフィックを送りつけるものである。DoS攻撃には様々なタイプのものがあるが、大きく次の2つのタイプに分類される。第1のタイプは攻撃対象のコンピュータの資源を浪費することによって機能障害を引き起こすことを狙うものであり、第2のタイプはより単純に大量の通信トラフィックによって攻撃対象の通信ネットワークの帯域を浪費することを狙うものである。

【0003】第1の従来技術として、ファイアウォール装置を用いてDDoS攻撃を防御することが考えられる。これは、何らかの手段によって悪意のある攻撃の通信パケットの送信元アドレス（具体的にはIPアドレスなど）を特定できたことを前提として、ファイアウォールの外側から到着する通信パケットのうち該当する送信元アドレスを有するものをファイアウォール装置において破棄し、ファイアウォールの内側のコンピュータの資源に悪影響を及ぼさないようにするという防御方法である。

【0004】また、第2の従来技術としては、本願発明者らが既に特許出願済の防御方法も存在する。これは、ネットワーク上で通信パケットを転送するための通信装置（具体的にはルータやスイッチなど）上に、DDoS攻撃を検知したり検知したDDoS攻撃を防御したりするためのコンピュータプログラムを実行することのできる環境を設け、次のような手順で被攻撃者のコンピュータを攻撃から防御するものである。その手順とは、まず、被攻撃者のコンピュータに最も近い通信装置（境界通信装置、境界ルータ）において当該通信装置を通過する通信パケットを監視し、DDoS攻撃を検出するプログラムモジュールを作動させる。DDoS攻撃が検出されると、当該DDoS攻撃の通信パケットを破棄するモジュールを作動させる。そして、上位の通信装置、すなわち攻撃元に近い側の通信装置を検索するモジュールを作動させる。次に、検索された上位の通信装置に対して当該検索モジュールを送信する。そして、上位の通信装置においてさらに上位の通信装置を検索する。そのようにして、順次上位の通信装置を検索し、攻撃元に最も近い通信装置を防御位置と定める。その定められた防御位置の通信装置に対して、DDoS攻撃の通信パケットを破棄するモジュールを送信し、当該防御位置の通信装置

においてこのモジュールを作動させることにより防御を行う。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】前記の第1の従来技術では、攻撃の通信パケットはファイアウォールの位置まで届いているため、たとえ防御対象のコンピュータの資源を防御することができても、ファイアウォールに至るまでの部分での攻撃による通信トラフィックを減らすことはできず、防御対象のコンピュータにとって必要な通信帯域が浪費されてしまうという問題があった。

【0006】また、前記の第2の従来技術でも、検知できないタイプの攻撃があるという問題があった。また、攻撃のトラフィックであることが確実に判別できない状況においては、そのような疑わしいトラフィックの存在によって、使用可能な通信帯域が狭められてしまうという問題があった。

【0007】本願発明はこのような事情を考慮してなされたものであり、より多くの種類の攻撃を検知して防御することのできる防御方法および装置ならびにそのコンピュータプログラムを提供することを目的とする。また、さらに、単に防御対象コンピュータの資源を守るだけでなく、攻撃のトラフィックあるいは攻撃であると疑われるトラフィックによってネットワークの通信帯域が浪費されないような防御方法等を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】上記の課題を解決するために、本発明は、複数の通信装置によって構成されるネットワークに接続された防御対象コンピュータをサービス不能攻撃から防御するための防御方法であって、前記防御対象コンピュータに最も近い通信装置であるところの境界通信装置からの指令情報に基づいて、当該境界通信装置から所定の段数分の範囲内に接続されているシールド通信装置が、当該シールド通信装置に到着する通信パケットを分析する分析処理を行い、この分析処理の結果に応じて当該通信パケットが前記防御対象コンピュータに対する攻撃の通信パケットである可能性に応じて当該通信パケットの優先度を決定してこの優先度に応じて当該通信パケットを転送先に転送するとともに、前記分析処理の結果当該通信パケットが確実に前記防御対象コンピュータに対する攻撃の通信パケットであることが判明した場合には当該通信パケットを破棄するシールド過程を有することを特徴とするサービス不能攻撃の防御方法を要旨とする。

【0009】また、本発明のサービス不能攻撃の防御方法は、前記境界通信装置から最も近い位置にある前記シールド通信装置との間の接続の段数として2以上を許容するとともに、当該段数を動的に変更できるようにしたことを特徴とする。

【0010】また、本発明のサービス不能攻撃の防御方

法は、前記シールド過程において前記通信パケットが確実に前記防御対象コンピュータに対する攻撃の通信パケットであることが判明した場合に、前記シールド通信装置がより攻撃元に近い側の隣接する通信装置に対してブローブプログラムコードを送信するブローブプログラムコード送信過程と、前記ブローブプログラムコードを受信したブローブ通信装置が、当該ブローブプログラムコードを実行することによって、当該ブローブ通信装置に到着する通信パケットを分析し、その結果当該通信パケットが前記防御対象コンピュータに対する攻撃の通信パケットである場合には当該通信パケットを破棄するとともにさらに攻撃元に近い側の隣接する通信装置に対して前記ブローブプログラムコードを送信し、分析の結果一定時間攻撃のパケットが検知されない場合には前記ブローブプログラムコードの処理を終了させるブローブ過程とをさらに有することを特徴とする。

【0011】また、本発明のサービス不能攻撃の防御方法は、前記ブローブ過程においては、宛先アドレスが前記防御対象コンピュータのアドレスである通信パケットを捕捉し、当該通信パケットの送信元アドレスが予め得られた攻撃元のアドレスと同一である場合には当該通信パケットが攻撃のパケットであると判定し、その他の場合には当該通信パケットは攻撃のパケットではないと判定することを特徴とする。

【0012】また、本発明のサービス不能攻撃の防御方法は、前記ブローブ過程においては、宛先アドレスあるいは送信元アドレスの少なくともいずれか一方が前記防御対象コンピュータのアドレスである通信パケットを捕捉し、a) 当該通信パケットの送信元アドレスが予め得られた攻撃元のアドレスと同一である場合、又は、b) 当該通信パケットの送信元アドレスが前記防御対象コンピュータのアドレスであって且つ当該通信パケットの宛先アドレスが前記攻撃元アドレスのブロードキャストアドレスである場合、には、当該通信パケットが攻撃のパケットであると判定し、上記a)あるいは上記b)のいずれにも該当しない場合には当該通信パケットは攻撃のパケットではないと判定することを特徴とする。

【0013】また、本発明のサービス不能攻撃の防御方法は、前記シールド過程内の前記分析処理においては、予め正常時に得ておいたパラメータの値を含んだログ情報を用いて、検査時のパラメータの値と前記ログ情報とを比較することによる動的検査の処理を行うことを特徴とする。

【0014】また、本発明は、防御対象コンピュータをサービス不能攻撃から防御するための防御方法の処理を実行するシールド通信装置であって、前記防御対象コンピュータに最も近い通信装置であるところの境界通信装置からの指令情報に基づいて、当該シールド通信装置に到着する通信パケットを分析する分析処理を行い、この分析処理の結果に応じて当該通信パケットが前記防御対

10

20

30

40

50

象コンピュータに対する攻撃の通信パケットである可能性に応じて当該通信パケットの優先度を決定してこの優先度に応じて当該通信パケットを転送先に転送するとともに、前記分析処理の結果当該通信パケットが確実に前記防御対象コンピュータに対する攻撃の通信パケットであることが判明した場合には当該通信パケットを破棄する処理を実行することを特徴とするものである。

【0015】また、本発明のシールド通信装置は、前記分析処理においては、予め正常時に得ておいたパラメータの値を含んだログ情報を用いて、検査時のパラメータの値と前記ログ情報とを比較することによる動的検査の処理を実行することを特徴とする。

【0016】また、本発明は、防御対象コンピュータをサービス不能攻撃から防御するための防御方法の処理を実行するプローブ通信装置であって、シールド通信装置によって防御対象コンピュータに対する攻撃の通信パケットが検出されたとき、当該シールド通信装置からプローブプログラムコードを受信し、当該プローブプログラムコードを実行することによって、当該プローブ通信装置に到着する通信パケットを分析し、その結果当該通信パケットが前記防御対象コンピュータに対する攻撃の通信パケットである場合には当該通信パケットを破棄するとともにさらに攻撃元に近い側の隣接する通信装置に対して前記プローブプログラムコードを送信し、分析の結果一定時間攻撃のパケットが検知されない場合には前記プローブプログラムコードの処理を終了させるプローブ過程の処理を実行することを特徴とするものである。

【0017】また、本発明のプローブ通信装置は、前記プローブ過程の処理においては、宛先アドレスが前記防御対象コンピュータのアドレスである通信パケットを捕捉し、当該通信パケットの送信元アドレスが予め得られた攻撃元のアドレスと同一である場合には当該通信パケットが攻撃のパケットであると判定し、その他の場合には当該通信パケットは攻撃のパケットではないと判定することを特徴とするものである。

【0018】また、本発明のプローブ通信装置は、前記プローブ過程の処理においては、宛先アドレスあるいは送信元アドレスの少なくともいずれか一方が前記防御対象コンピュータのアドレスである通信パケットを捕捉し、a) 当該通信パケットの送信元アドレスが予め得られた攻撃元のアドレスと同一である場合、又は、b) 当該通信パケットの送信元アドレスが前記防御対象コンピュータのアドレスであって且つ当該通信パケットの宛先アドレスが前記攻撃元アドレスのブロードキャストアドレスである場合、には、当該通信パケットが攻撃のパケットであると判定し、上記a)あるいは上記b)のいずれにも該当しない場合には当該通信パケットは攻撃のパケットではないと判定することを特徴とするものである。

【0019】また、本発明は、防御対象コンピュータを

サービス不能攻撃から防御するための防御方法の処理を実行する通信装置であって、ネットワーク側から到着する通信パケットを捕捉する到着パケット捕捉部と、前記通信パケットに対して作用を及ぼすコンピュータプログラムの処理を行うアクティブネットワーク実行環境部と、複数のクラスにそれぞれ対応した待ち行列を備えるとともに、前記アクティブネットワーク実行環境部における前記コンピュータプログラムの処理の結果として決定されるクラスに応じて、前記通信パケットをそのクラスに対応する前記待ち行列に入れる処理を行うクラスベースの待ち行列処理部と、前記クラスベースの待ち行列処理部が備える各々の待ち行列から順次通信パケットを取り出してネットワーク側に送出するパケット送出部と、前記アクティブネットワーク実行環境部で実行するためのコンピュータプログラムを他の通信装置との間で転送する処理を行うプログラム転送処理部とを備えており、前記アクティブネットワーク実行環境部は、コンピュータプログラムを記憶するコード記憶部と、このコード記憶部に記憶されたコンピュータプログラムを読み出して実行するコード実行部とを備えており、前記コード記憶部には、到着する通信パケットの分析を行い、この分析の結果、前記通信パケットが攻撃の通信パケットである可能性に応じて前記通信パケットのクラスを決定するとともに、当該通信パケットが確実に攻撃の通信パケットである場合には当該通信パケットを破棄する処理をコンピュータに実行させるシールドモジュールと、到着する通信パケットを分析し、その結果当該通信パケットが前記防御対象コンピュータに対する攻撃の通信パケットである場合には当該通信パケットを破棄する処理をコンピュータに実行させるプローブモジュールと、前記プローブモジュールの処理をコンピュータが実行した結果、攻撃の通信パケットが見つかった場合に、自己のプログラムコードの複製をさらに攻撃元に近い側の隣接する通信装置に対して送信する処理をコンピュータに実行させる自己複製送信モジュールと、前記プローブモジュールの処理をコンピュータが実行した結果、攻撃の通信パケットが所定時間継続して見つからなかった場合に、自己のプログラムコードを消滅させる処理をコンピュータに実行させる自己消滅モジュールとが少なくとも記憶されていることを特徴とする通信装置である。

【0020】また、本発明は、複数の通信装置によって構成されるネットワークに接続された防御対象コンピュータをサービス不能攻撃から防御するための防御方法の処理をコンピュータに実行させるコンピュータプログラムであって、前記防御対象コンピュータに最も近い通信装置であるところの境界通信装置からの指令情報に基づいて、当該境界通信装置から所定の段数分の範囲内に接続されているシールド通信装置が、当該シールド通信装置に到着する通信パケットを分析する分析処理を行い、この分析処理の結果に応じて当該通信パケットが前記防

御対象コンピュータに対する攻撃の通信パケットである可能性に応じて当該通信パケットの優先度を決定してこの優先度に応じて当該通信パケットを転送先に転送するとともに、前記分析処理の結果当該通信パケットが確実に前記防御対象コンピュータに対する攻撃の通信パケットであることが判明した場合には当該通信パケットを破棄するシールド過程の処理をコンピュータに実行させるものである。

【0021】また、本発明は、複数の通信装置によって構成されるネットワークに接続された防御対象コンピュータをサービス不能攻撃から防御するための防御方法の処理をコンピュータに実行させるコンピュータプログラムであって、到着する通信パケットを分析し、その結果当該通信パケットが前記防御対象コンピュータに対する攻撃の通信パケットである場合には当該通信パケットを破棄するとともにさらに攻撃元に近い側の隣接する通信装置に対して当該コンピュータプログラム自身を送信し、分析の結果一定時間攻撃のパケットが検知されない場合には当該コンピュータプログラムを終了させるプロ

ープ過程の処理をコンピュータに実行させるものである。

【0022】また、本発明は、上記のコンピュータプログラムにおいて、前記プロープ過程においては、宛先アドレスが前記防御対象コンピュータのアドレスである通信パケットを捕捉し、当該通信パケットの送信元アドレスが予め得られた攻撃元のアドレスと同一である場合には当該通信パケットが攻撃のパケットであると判定し、その他の場合には当該通信パケットは攻撃のパケットではないと判定する処理をコンピュータに実行させるものである。

【0023】また、本発明は、上記のコンピュータプログラムにおいて、前記プロープ過程においては、宛先アドレスあるいは送信元アドレスの少なくともいずれか一方が前記防御対象コンピュータのアドレスである通信パケットを捕捉し、a) 当該通信パケットの送信元アドレスが予め得られた攻撃元のアドレスと同一である場合、又は、b) 当該通信パケットの送信元アドレスが前記防御対象コンピュータのアドレスであって且つ当該通信パケットの宛先アドレスが前記攻撃元アドレスのブロードキャストアドレスである場合、には、当該通信パケットが攻撃のパケットであると判定し、上記a) あるいは上記b) のいずれにも該当しない場合には当該通信パケットは攻撃のパケットではないと判定する処理をコンピュータに実行させるものである。

【0024】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照しこの発明の一実施形態について説明する。図1は、本実施形態が前提とするネットワークの構成である。図1に示すように、通信ネットワークは、複数の通信装置7001によって接続されている。そして、通信装置7001には1台ま

たは複数台のユーザのコンピュータ7000を接続することができるようにになっている。ユーザのコンピュータ7000相互間で通信データのやりとりを行う際には、送信元のユーザのコンピュータ7000が送信したパケットを通信ネットワーク上の各ノードに位置する通信装置7001が順次転送することにより、そのパケットを宛先のユーザのコンピュータ7000に届けるようにする。

【0025】次に、通信装置の構成について説明する。

図2は、本実施形態による通信装置7001の内部の構成を示すブロック図である。図2に示すように、通信装置7001は、ネットワーク（通信線）を経由して他の通信装置あるいはコンピュータから到着した通信パケットを捕捉する到着パケット捕捉部7531と、到着パケット捕捉部7521によって捕捉された通信パケットを転送するための処理を行う転送処理部7521と、優先度の異なる複数のクラスに対応した待ち行列（キュー）を用いることによってクラス毎の通信帯域を制御するクラススペースの待ち行列処理部7532と、このクラススペースの待ち行列処理部7532から出力されたパケットを他の通信装置あるいはコンピュータに転送するためにネットワークに送出するパケット送出部7533とを備えている。

【0026】さらに、通信装置7001は、アクティブネットワーク実行環境7510と、プログラム転送処理部7540とを備えている。アクティブネットワーク実行環境7510は、転送対象のパケットに対して作用するプログラムコードを実行するものであり、その内部には、プログラムコードを記憶するコード記憶部7512とこのコード記憶部7512から読み出したプログラムコードを実行するコード実行部7511とを有している。プログラム転送処理部7540は、ネットワークを介して、アクティブネットワーク実行環境7510で実行するためのプログラムコードを他の通信装置から受信したり、逆に他の通信装置上で実行させるためのプログラムコードを他の通信装置に対して送信したりするものである。

【0027】アクティブネットワーク実行環境7510内のコード記憶部7512には、DDoS攻撃を防御するためのDDoS攻撃防御プログラムを記憶することができるようにになっている。このDDoS攻撃防御プログラムは、センサーモジュールとシールドモジュールとブロープモジュールと自己複製送信モジュールと自己消滅モジュールとを含んでいる。センサーモジュールは当該通信装置に到着する通信パケットを継続的に分析することにより、DDoS攻撃の通信トラフィックが起こっているかどうかを検知する機能を有する。シールドモジュールは、センサーモジュールによる分析結果に基づき、DDoS攻撃の通信パケットを破棄したり、通信パケットの特徴に応じて出力のクラスを決定し当該通信パケッ

トがこのクラスに対応した待ち行列に入るようにクラスベースの待ち行列処理部7532に渡したりする機能を有する。プローブモジュールは、DDoS攻撃が検知されたときに、より上位の通信装置において、つまりより攻撃元に近い側の通信装置において防御のための処理を行う機能を有する。自己複製送信モジュールは、より上流の通信装置に、プログラム転送処理部7540経由でDDoS攻撃プログラムコード自身あるいはその一部分を転送する機能を有する。自己消滅モジュールは、DDoS攻撃のトラフィックが継続されない状態が所定時間以上継続した場合に、DDoS攻撃防御プログラム自身の実行を終了したり、当該通信装置のコード記憶部上から消去したりする機能を有する。なお、防御対象のコンピュータに直接に隣接する通信装置等においては、DDoS攻撃防御プログラムの自己消滅を行わずに、常になくともセンサーモジュールだけは稼働させるようにしても良い。

【0028】次に、この通信装置7001が通信パケットを転送する際の処理の流れを説明する。ネットワーク側から到着した通信パケットは到着パケット捕捉部7531によって捕捉され、転送処理部7531に渡される。転送処理部7531は、通信パケットの宛先アドレス等に応じて、当該通信パケットをそのままクラスベースの待ち行列処理部7532に渡すか、あるいは当該通信パケットをアクティブネットワーク実行環境7510上で稼動するプログラムに渡す。このプログラムは、所定の処理を行い、通常は通信パケットをクラスベースの待ち行列処理部7532に渡すが、前記のようにそれがDDoS攻撃の通信パケットであると認識された場合などはその通信パケットをそのまま破棄する場合もあり得る。クラスベースの待ち行列処理部7532に渡された通信パケットは、指定されたクラスの待ち行列に一旦入れられ、クラス毎に待ち行列から通信パケットが順次取り出され、パケット送出部7533に渡される。パケット送出部7533は、通信パケットをネットワーク上の所定の転送先に向けて送出する。

【0029】次に、上述した通信装置同士が協調的に動作することによりネットワーク全体を通してDDoS攻撃を防御する方法の概略を説明する。図3は、本実施形態による防御のしくみを示す論理的概略図である。図3において、符号7000aは被攻撃者のコンピュータである。被攻撃者のコンピュータ7001aとなる可能性があるのは、例えば、著名なウェブサイトのサーバコンピュータなどであり、このコンピュータ7000aがDDoS攻撃を受けたときに防御のしくみが働く。また、7001a～7001eは、それぞれネットワークを構成する通信装置（具体的にはルータやスイッチなど）であり、図2を用いて説明した通信装置7001に相当するものである。

【0030】これらの通信装置（7001a～7001

e)のうち、通信装置7001aは、被攻撃者のコンピュータ7000aに直接に隣接するものであり、つまり被攻撃者のコンピュータ7000a側から見てネットワークへの接点となるものであり、このような位置付けの通信装置を「境界（edge）通信装置」と呼ぶことにする。そして、この境界通信装置が防御指令元としての役割、つまりこの防御のしくみ全体を制御する中心としての役割を果たす。また、通信装置7001bおよび7001c（シールド通信装置）は、防御指令元からの指令に基づき通信トラフィックを検査するとともに、DDoS攻撃の通信パケットを破棄するなど、シールドとしての役割を果たす。また、通信装置7001e（プローブ通信装置）は、シールドからさらに上位において防御を行うためのプローブとしての役割を果たす。

【0031】各通信装置の、防御指令元、シールド、およびプローブとしての、それぞれの具体的な処理内容を以下に記載する。防御指令元が行う処理のひとつはシールドレベルの設定である。ここで、シールドレベルとは、防御指令元から見て、ネットワークの外側への通信装置の接続の段数（深さ）である。図3に示している構成では、シールドレベルは「2」に設定されているため、防御指令元の通信装置7001aから見て1段目の通信装置7001bおよび2段目の通信装置7001cがシールドの役割を果たす。図3ではシールドレベルが「2」に設定されている例を示しているが、他のレベルに設定することも可能であり、また動的にレベルを変更することも可能である。例えば、被攻撃者のコンピュータ7000aへの攻撃の度合いが大きい場合にはシールドレベルが高くなるように動的に変更することができ30る。また、防御指令元は、防御指令元から転送され他の通信装置上で稼動する全てのシールドモジュールに対する制御を行う。また、防御指令元は、必要に応じて稼動中のシールドモジュールの動作を停止させることもできる。

【0032】後述するように、シールドモジュールは各通信装置（7001b、7001c）上で、局所静的検査と局所動的検査の2つのタイプの検査を行うため、ある種の攻撃はシールドモジュールによって効果的に防御することができる。しかしながら、他の攻撃の中には、ネットワーク全体の状況のデータを分析することによってはじめて検出され得るものもある。そこで、防御指令元は、大域的動的検査の処理を行う。

【0033】本実施形態による防御をネットワークに適用した場合、最初は、防御指令元は学習段階の処理を行う。この学習段階の処理では、定期的に到着パケット（通信トラフィック）のスナップショットデータを取得し、このスナップショットデータに統計的処理を施すことによって、正常状態におけるネットワークの特徴データを取得する。この特徴データは、防御対象のコンピュータの使用目的等に応じてネットワーク毎に異なる特徴

のパターンを表わすものである。この正常状態における特徴データを便宜的に「指紋データ」と呼ぶことにする。

【0034】学習段階で指紋データが得られると、次の段階では、防御指令元は、この指紋データを使うことによって異常を検出することができる。ここで検出可能な異常とは、例えば、到着パケットのヘッダ部分に格納されている送信元アドレスの分布が異常にばらついている（ランダム性が高い）といったものであり、このような異常が検出されるということは、ランダムに選択されたアドレスによって送信元アドレスを偽装したパケットを用いた攻撃が行われていることを示唆している。一旦ある異常が検出されると、防御指令元は、新しいパケットフィルタリングのルールを全てのシールドに対して発行することができる。

【0035】次に、シールド（図3における通信装置7001bおよび7001cが果たす役割）の具体的な処理内容について説明する。シールドは、DDoS攻撃に対処するための「第一段階」の対応の役割を果たすように設計されている。各通信装置上において、シールドモジュールは、防御対象となっているコンピュータに向けて転送されてくる通信パケットをモニタする。これは、後述するアクティブネットワークのしくみにおいて、特定の通信アドレス（IPアドレス）を有するパケットをトリガーとしてアクティブネットワーク実行環境上の特定のプログラムコードを呼び出すことによって可能となる。従って、シールドモジュールの制御は、本モジュールの所有者に関するすべての通信パケットに及ぶこととなる。

【0036】図4は、シールドモジュールによる通信パケットのクラス分けの処理の概要を示す概略図である。図示するように、シールドモジュールの処理対象となる通信パケットは、ネットワーク側から入力インタフェースを介して到着すると、一旦入力待ち行列に入れられ、順次シールドモジュールに渡される。また、クラススペースの待ち行列処理部7532は、出力（ネットワークへの送出）の優先度がそれぞれ「高」、「中」、「低」の3つの待ち行列を有している。そして、クラススペースの待ち行列処理部7532は、アクティブネットワーク実行環境7510上で稼動するシールドモジュールによって決定されたクラスに応じた待ち行列に通信パケットを格納し、各待ち行列から順次通信パケットを取り出して出力する。

【0037】各通信装置上で稼動するシールドモジュールは、通信トラフィックをクラス別に分類するクラス分け機能を有しており、このクラス分け機能は、到着した通信パケットがDDoS攻撃の洪水トラフィックをなすものである確率を求めることができるようになっている。そして、DDoS攻撃である可能性が最も高い部類に属する通信パケット、つまり最も疑わしいクラスの通

信パケットは、最も優先度の低い待ち行列（「低」）に入るように指定され、クラススペースの待ち行列処理部7532に渡される。逆に、DDoS攻撃である可能性が最も低い部類に属する正常な通信パケットは、最も優先度の高い待ち行列（「高」）に入るように指定される。疑わしさの度合いが中間のクラスの通信パケットは、優先度が「中」の待ち行列に入るように指定される。

【0038】シールドモジュールが、上記のようにクラススペースの待ち行列を用いた出力の処理を行うことにより、次の2つの効果が得られる。第1の効果は、防御対象のコンピュータが攻撃を受けている途中、疑わしい通信トラフィックが防御対象のコンピュータに到達しにくくする一方で、正常である可能性の高い通信トラフィックが防御対象のコンピュータに到達する可能性を高めることができる点である。つまり、疑わしい通信トラフィックの帯域を抑え、正常な通信トラフィックの帯域を確保することができる。第2の効果は、DDoS攻撃を検出するためのアルゴリズムにより柔軟性と正確性を与えることができる点である。

【0039】従来技術においてDDoS攻撃の通信パケットであるか否かを二値的に判断して処理していたのに比べると、上記の2つの効果は防御の方法を大幅に改善するものであると言える。何故ならば、通常時の通信トラフィックよりも広い帯域を占める通信トラフィックが流れているときに、その通信トラフィックがDDoS攻撃によって引き起こされているものであるのか、正常な通信の量がたまたまピークをむかえているものであるのかを判別するのは、単純に行える問題ではないからである。また、たとえDDoS攻撃であることが確認された状況下であっても、DDoS攻撃による洪水パケットと正当な通信パケットとを高い信頼性で分別することは困難だからである。つまり、正常な通信パケットまでもが届きにくくなるというダメージを最小化するためには、検知アルゴリズムは、二値的な真か偽かの判断を行うものであるよりも、攻撃の通信パケットである可能性（確率）算出するものであるほうが望ましいといえる。そして、攻撃の通信パケットである可能性が非常に高い通信パケットだけを破棄するようにすべきである。

【0040】シールドモジュール内の前記クラス分け機能は、以下に述べるように、局所静的検査と局所動的検査との2つのタイプの検査を行う。局所静的検査は、状態に基づかずに行われる検査であり、それぞれの多くの静的なパラメータに基づいて各々の到着パケットに対して行われる検査である。ここで、静的なパラメータとは、通信パケットの送信元アドレスや宛先アドレス、ヘッダ（具体的にはIPヘッダなど）に含まれる通信プロトコル上のパラメータ、通信パケット長、宛先ポート番号、ICMP（インターネット・コントロール・メッセージ・プロトコル）タイプなどである。

【0041】例えば、防御対象のコンピュータがウェブ

サイトのサーバである場合には、その防御対象のコンピュータが他のコンピュータに対して「ping」要求を送信することはないため、シールドは、その防御対象のコンピュータに向けたタイプ0のICMPパケット（エコー応答）や送信元のポート番号が7であるUDP（ユーザ・データグラム・プロトコル）を、検出次第すぐに破棄することができる。また、静的検査によって検出可能な他の異常の例としては、送信元アドレスと宛先アドレスが同一である通信パケットである。このような通信パケットは、そのアドレスを有するコンピュータが通信パケットの送受信のループに陥ることを狙った攻撃であるので、シールドはこのような通信パケットを全て破棄すべきである。

【0042】局所動的検査は、状態に基づいて行われる検査であり、シールドによって記録されたログファイル（ログ情報）を用いて行われる検査である。このログファイルは、異常を検出するために用いられるデータとして、ある種のパラメータの値を所定期間にわたって記録し保持するものである。

【0043】ここで、動的検査の具体例について説明する。第1の具体例は、異常なパケットあるいは疑わしいパケットが継続的に流入してくるときに、その継続時間を検査するものである。例えば、突然、同じ送信元から規定の最大サイズの通信パケットが5分間に渡って継続的に流入してきた場合になどには、シールドはその送信元アドレスからの通信パケットの疑わしさの度合いを上げ、その送信元アドレスからの通信パケットを「低」優先度の出力待ち行列に入れるようにする。第2の具体例は、特定のコンピュータへの到着パケットとそのコンピュータからの送出パケットと間の量（パケット数、データ量など）の比率を用いて検査を行うものである。一般にこの到着・送出間の比率は、コンピュータ（システム、例えばウェブサイトのシステム）毎に異なるが、あるコンピュータについて見た場合、その比率はほぼ一定している。そこで、予め通常時に長期的な到着・送出間の平均比率を算出しておく。そして、その平均比率に基づいて、異常を検知するための到着・送出間の比率の閾値を決定しておく。そして、検査中に到着・送出間の比率がこの閾値をこえた場合に異常とみなすことができる。なお、上限値と下限値を予め決定しておき、到着・送出間の比率が上限値を上回った場合あるいは下限値を下回った場合に異常とみなすようにしても良い。

【0044】第3の具体例は、通信パケットの送信元アドレスの分布を利用して検査を行うものである。正常な状況においてある程度の長い期間にわたって見た場合、通信パケットの送信元アドレスの分布はほぼ一定しているはずである。ところがDDoS攻撃が行われる際には、ランダムに選ばれたアドレスを用いて送信元アドレスの偽装が行われるため、送信元アドレスのばらつき度合いが異常に高い場合、言い換えればランダム性が高い

場合に、攻撃を検出することができる。図5（a）および（b）は、それぞれ送信元IPアドレスの分布状況を示すグラフである。図5（a）は正常時の分布例を示しており、同（b）はDDoS攻撃を受けているときの分布例を示しており、それぞれ横軸はIPアドレス、縦軸は通信パケットの出現回数（あるいは出現頻度でも良い）を表している。図5（a）に示すように、正常時には、特定の少数の送信元アドレスの通信パケットのみの出現回数が多く、他の送信元アドレスの通信パケットの出現回数は少なかったりゼロであったりするなど、特定のアドレスに出現回数が集中する傾向がある。それに対して図5（b）に示すように、DDoS攻撃が行われているときには、偽装のためのアドレスがランダムに選択されるために、すべての送信元アドレスについて一様に出現回数が多くなる。つまり、出現回数の分布がIPアドレスの空間にばらついている度合いが大きい。

【0045】このようなランダム性を数値化に扱う方法を説明する。存在するすべてのIPアドレスの数を k とする。 i 番目（ $1 \leq i \leq k$ ）のIPアドレスの出現頻度を長期間にわたって測定しておくことによって、所定期間中に期待される i 番目の出現回数 $e(i)$ を予め得ておく。そして、検査時に所定期間中に実際に i 番目のIPアドレスが出現した回数 $o(i)$ を得ておく。そして、すべてのIPアドレスについて、
$$d(i) = ((o(i) - e(i))^2) / e(i)$$
を計算し、 $1 \leq i \leq k$ であるすべての i についての $d(i)$ の総和を計算する。この総和が予め定めた閾値を上回った場合に、異常とみなすことができる。

【0046】以上説明した3種類の具体例の他にも、通信パケット長さ、TTL（Time-To-Live）値など様々なパラメータを用いた検査が可能であり、これらのパラメータ値のランダム性が異常に高い場合や、逆に一定している度合いが異常に高い場合などを検出することによって、DDoS攻撃が行われているかどうかを検査することができる。

【0047】図3に示したように、シールドを複数の通信装置に分散させることにより、次の2つの効果が得られる。第1の効果は、DDoS攻撃を吸収しやすくなり、異常な通信トラフィックの増加を起りにくくすることができる点である。第2の効果は、通信トラフィックの検査を異なった複数の場所で行える点である。

【0048】次に、ブローブ（図3における通信装置7001eが果たす役割）の具体的な処理内容について説明する。本実施形態の防御方法は、DDoS攻撃によって引き起こされるダメージを最小化することを目的として、シールドを用いた防御のほかに、さらにブローブを用いる。前述のようにシールドが「第一段階」の対応の役割を果たすように設計されていたのに対して、ブローブは、トレースバックおよび「第二段階」の対応の役割を果たすように設計されている。つまり、シールド過程

において通信パケットが確実に防御対象コンピュータに対する攻撃の通信パケットであることが判明した場合に、シールド通信装置がより攻撃元に近い側の隣接する通信装置に対してプローブプログラムコードを送信するプローブプログラムコード送信過程の処理が行われる。また、前記プローブプログラムコードを受信したプローブ通信装置が、当該プローブプログラムコードを実行することによって、当該プローブ通信装置に到着する通信パケットを分析し、その結果当該通信パケットが防御対象コンピュータに対する攻撃の通信パケットである場合には当該通信パケットを破棄するとともにさらに攻撃元に近い側の隣接する通信装置に対して前記プローブプログラムコードを送信し、分析の結果一定時間攻撃のパケットが検知されない場合には前記プローブプログラムコードの処理を終了させるプローブ過程の処理が行われる。

【0049】本実施形態の防御のしくみがDDoS攻撃を確認して、攻撃による洪水トラフィックを完璧に阻止することを決定した場合には、プローブが洪水トラフィックの元に向かって送り込まれる。その目的は次の2つである。第1の目的は、洪水トラフィックを可能な限り上流で阻止することによって、ネットワークの帯域を少しでも多く確保することである。また、第2の目的は、法的に使用する目的の攻撃の証拠を収集することである。このプローブもまた、アクティブネットワークのアクティブコードとして実現されている。つまり、プローブモジュールは、下流から上流に向かって通信装置から通信装置を段階的に移動していくエージェントのようなふるまいをする。なお、本実施形態では、次に述べるA型とB型との2つのモデルのDDoS攻撃に対応できるように、プローブモジュールのアルゴリズムを設計している。

【0050】まず、A型のDDoS攻撃について説明する。図6は、A型のDDoS攻撃を示す概略図である。このA型のモデルでは、マスター（攻撃元のコンピュータ）と、このマスターによって侵入されたスレーブ（コンピュータ）とによって攻撃が行われる。マスターコンピュータはDDoS攻撃のプログラムをスレーブコンピュータにアップロードする。このマスターとスレーブとの間の通信をコントロールトラフィックと呼ぶ。そして、それぞれのスレーブコンピュータは、被攻撃者のコンピュータに対して膨大な量のパケットを送りつける。このとき、被攻撃者が攻撃元を特定できないようにすることを目的として、スレーブコンピュータから被攻撃者のコンピュータに対して送られる通信パケットの送信元アドレスの偽装が行われることもしばしばある。

【0051】次に、B型のDDoS攻撃について説明する。図7は、B型のDDoS攻撃を示す概略図である。例えば「Smurf」や「Fraggle」を用いたDDoS攻撃はこのB型に含まれる。B型の攻撃の特徴は

被攻撃者のコンピュータのダメージを大きくするために、ネットワークを用いて通信トラフィックの増幅を行う点にある。マスター（攻撃元のコンピュータ）がスレーブコンピュータに対して指令を行うことにより、スレーブコンピュータはICMPエコー要求パケットやUDPの7番ポート（エコー）のパケットをいくつかのネットワークに対してブロードキャストする。このとき各々のエコー要求のパケットの送信元アドレスは偽装されており、被攻撃者のコンピュータのアドレスが送信元アドレスとして格納されている。従って、エコー要求パケットのブロードキャスト先のネットワークに接続されたすべてのコンピュータ（正当なユーザのコンピュータ）は、被攻撃者のコンピュータに対してエコー応答のパケットを送信しようとする。このようにして、ネットワークによって増幅された洪水トラフィックが被攻撃者のコンピュータに向かうこととなる。

【0052】次に、プローブによる前記A型のDDoS攻撃への対応の処理について説明する。一般に、あるひとつの通信パケットの送信元アドレスが偽装されているか偽装されていないかを見分けることはできない。そこで、初期的には、全ての通信パケットの送信元アドレスが偽装されているものという仮定を置くことにする。

【0053】図8は、A型のDDoS攻撃に対応するためのプローブのアルゴリズムを記述した擬似プログラムコードである。以下、図8を参照しながら説明する。シールドモジュールによって検出された攻撃トラフィックの送信元アドレスが変数「attSrc」に格納されている。本実施形態においては、アクティブネットワーク実行環境で実行される各アクティブコードは特定の所有者によって所有され、当該所有者に関するすべての通信パケットをフルに制御することができるようオーソライズされていることを前提としている。従って、各通信装置上では、プローブモジュールは当該プローブモジュールの所有者に関するパケットをすべて捕捉し処理対象とすることができる。

【0054】図3に示したように、シールドの通信装置からスタートして、順次自己複製送信モジュールの機能によって、攻撃元の方角に向かって隣接する通信装置に段階的にプローブモジュールの複製が転送されていく。図8に示すプローブモジュールのコードは、新たなノード（通信装置）uに到着して実行が開始される。

【0055】まず図8に示す擬似コードの1行目において、変数「explored」に値「false（偽）」が格納される。次に同擬似コードの2行目から11行目までのループ（do-while）が実行される。同擬似コードの3行目において、関数「capturePacketByDest（）」の機能によって、被攻撃者のコンピュータのアドレス（IPアドレス）を宛先アドレスとする通信パケットを捕捉し、その通信パケットのデータを変数（構造体）「p」に格納する。同

擬似コードの4行目において、変数「p」に格納された通信パケットの送信元アドレス（p. src）が前記変数「attSrc」の値に等しいならば、つまり攻撃トラフィックの送信元アドレスに等しいならば、5行目から9行目までの処理が実行される。そうでない場合には、10行目の関数「releasePacket（p）」の機能によって当該通信パケットがリリースされる、つまり転送先の通信装置に向けて送出される。4行目の処理において攻撃トラフィックの通信パケットであると判別された場合は、同擬似コードの5行目において、関数「discard（p）」の機能により、変数「p」に格納された通信パケットは破棄される。つまり、攻撃のトラフィックがここで阻止される。また、同擬似コードの7行目から9行目の処理においては、当該ノードuに隣接するノードであって当該ノードuに対してプローブモジュールを送信した元のノードではないものの、つまりすべての上流のノードv（通信装置、複数の場合もある）に対してプローブモジュール自身の自己複製を転送する。

【0056】同擬似コードの11行目の条件式において、攻撃のトラフィックが見つからない状態が所定時間続いた場合には、2行目から11行目までのループを抜け出し、12行目において自己消滅モジュールの機能によって自己を消滅させる。つまり、一旦プローブとして動作を始めたもののその通信装置が攻撃の上流の位置にない場合には、プローブとしての役割を終える。

【0057】以上説明したように、図8に示したアルゴリズムの目的は攻撃元に最も近い位置の通信装置を見つけ出し、その位置において不必要なトラフィックを阻止することである。これによって、下流に攻撃の通信パケットが流れることを防ぎ、途中の通信装置に不要な負荷がかからないようにすることができる。また、攻撃元に最も近い通信装置に到達すると、プローブはその位置情報（IPアドレスなど、証拠情報）を防御指令元に報告する処理を行う。

【0058】次に、プローブによる前記B型のDDoS攻撃への対応の処理について説明する。前述したように、B型のDDoS攻撃においては、攻撃元（スレーブ）から増幅のために用いられるネットワークに対して送られる通信パケットは偽装された送信元アドレスを有している。ところが、増幅のために用いられたネットワークに属しているコンピュータから被攻撃者のコンピュータに送られる洪水トラフィックの通信パケットのヘッダには、各コンピュータの正規の送信元アドレスが格納されている。シールドは、初期的には、増幅のために用いられたネットワークに属するコンピュータのアドレスを変数「attSrc」に格納してしまうため、図8で示したアルゴリズムを使っている限りにおいては、プローブは増幅のために用いられたネットワークまでしか到達することはできず、その先、つまり真の攻撃者にさら

に近い通信装置へプローブを送り込むことはできない。そこで、B型のDDoS攻撃に対応するためのプローブとして新たなアルゴリズムを用いることにする。

【0059】図9は、B型のDDoS攻撃に対応するためのプローブのアルゴリズムを記述した擬似プログラムコードである。以下、図9を参照しながら説明する。図9に示す擬似プログラムコードの特徴は、その3行目と4行目の処理にある。同コードの3行目では、関数「capturePacketAssociatedWith（）」の機能によって、被攻撃者のコンピュータのアドレスに関する通信パケットを捕捉する。つまり、例えば、送信元アドレスあるいは宛先アドレスのいずれかが被攻撃者のコンピュータのアドレスと同一である通信パケットを捕捉する。また、同コードの4行目のif文による判断のための条件式は、捕捉された通信パケットの送信元アドレスが変数「attSrc」に等しい場合だけでなく、送信元アドレスが被攻撃者のコンピュータのアドレスであって且つ宛先アドレスが変数「attSrc」に格納されているアドレスのブロードキャストアドレスである場合にも、その値が「真」となるように記述されている。例えば、変数「attSrc」に格納されている攻撃元のIPアドレスが「101.102.103.104」であったとき、「101.102.103.255」はそのブロードキャストアドレスである。4行目のif文の条件式をこのようなものにするにより、被攻撃者のコンピュータのアドレスが送信元アドレスであって且つ増幅に用いられているネットワークのブロードキャストアドレスが宛先アドレスであるような通信パケット、すなわち攻撃元（図7におけるスレーブ）から増幅のためのネットワークに対して送られている偽装の通信パケットを破棄できる（同コード5行目の処理）ようになるとともに、さらに攻撃元に近い通信装置にプローブモジュールを送り込むことができる（同コードの6行目～9行目の処理）ようになる。

【0060】なお、変数「attSrc」に格納される攻撃元のIPアドレスは複数のアドレスであっても良い。また、通信装置から通信装置へプローブが移動するのに伴って、この攻撃元IPアドレスの情報も渡されるようにする。

【0061】なお、上述した防御のしくみが機能するためには、必ずしもネットワークを構成するすべての通信装置がアクティブネットワーク実行環境を備えていることが要求されるわけではない。つまり、ネットワークがアクティブノードのみから構成されるのではなく、アクティブノードと非アクティブノード（アクティブネットワーク実行環境を備えず通信パケットの転送のみを行う通信装置のノード）とが混在していても良い。この場合には、DDoS攻撃防御プログラムコードは、アクティブノード相互間で転送され、アクティブノードにおいてのみ実行される。そして、非アクティブノードは、単に

通信パケットを転送する役割を果たす。

【0062】次に、図10～図13を参照しながら、本実施形態が前提としているアクティブネットワークの実現方式の一例について説明する。

【0063】図10は、通信装置7001の内部の構成を示すブロック図である。図10に示すように、通信装置7001には通信線7024a、7024b、7024c、7024dが接続されており、通信装置7001はこれらの通信線を介して隣接する他の通信装置との間でパケットを交換することができるようになっている。また、通信装置7001には、上記の各通信線7024a～7024dに対応したインタフェース部7023a～7023dと、パケットを転送する処理を行うための転送処理部7021と、パケットの転送の際の転送先の情報を記憶する転送先テーブル7022と、アクティブパケットに対する処理を行うためのアクティブネットワーク実行環境(Active Network Execution Environment)7010とが設けられている。なお、アクティブネットワーク実行環境7010は、内部に、アクティブコード(プログラム)を実行するためのコード実行部7011と、アクティブコードを記憶しておくためのコード記憶部7012とを備えている。なお、ここでアクティブコードとは、アクティブネットワークにおいてパケットに対する作用を行うコンピュータプログラムのコードである。

【0064】ここで、図10を参照しながら、この通信装置7001の動作例の概要を説明する。隣接する他の通信装置から通信線7024dを介してパケットが到着すると、インタフェース部7023dがそのパケットを受信し転送処理部7021に渡す。転送処理部7021は、渡されたパケットのヘッダ部分に格納されている送信元(source)アドレスと宛先(destination)アドレスとを読み取り、さらにそれらのアドレスをキーとして転送先テーブル記憶部7022に記憶されている転送先テーブルを参照することによって、そのパケットにどう対処するかを決定する。

【0065】パケットへの対処は大きく2通りに分けられる。そのパケットに対してアクティブコードを適用する場合と、そのパケットをそのまま他の通信装置に転送する場合とである。転送先テーブルを参照した結果、そのパケットに対してアクティブコードを適用すべきものである場合には、転送処理部7021は、そのパケットをアクティブネットワーク実行環境7010に渡す。アクティブネットワーク実行環境7010においては、コード実行部7011がそのパケットを受け取り、そのパケットに対して適用すべきアクティブコードをコード記憶部7012から読み出して実行する。なお、コード実行部7011は、アクティブコードを実行した結果、必要な場合には処理対象となったパケットを再び転送処理部7021に渡して他の通信装置に対して転送すること

もある。転送先テーブルを参照した結果、そのパケットにアクティブコードを適用せずそのまま他の転送装置に転送すべきものである場合には、転送処理部7021は、適切な転送先に対応したインタフェース部(7023aや7023bや7023cなど)に渡し、そのインタフェース部が通信線(7024aや7024bや7024cなど)を介してパケットを他の通信装置に転送する。

【0066】なお、ここでは通信線7024dを介して他の通信装置からパケットが到着した場合を例として説明したが、他の通信線を介してパケットが到着した場合の処理も同様である。

【0067】次に、通信装置7001内の転送処理部7021がいかにしてパケットに対する処置(アクティブコードを適用するか、単純に他の通信装置に転送するか)を決定するかを具体的に説明する。

【0068】本実施形態が基礎とするフレームワークでは、アクティブネットワーク実行環境はパケットの中において指定されているIPアドレスに基づいて起動される。ここで、全ての(グローバル)IPアドレスの集合をIと表わすものとする。また、送信元IPアドレスがsであり宛先IPアドレスがdであるようなパケットを(s, d)と表わすものとする。また、通信装置のアクティブネットワーク実行環境に格納されているすべてのアクティブコードはそれぞれ特定のユーザに属するものとし、ある特定のユーザの所有するIPアドレスの集合をOと表わすものとする。

【0069】本フレームワークでは、上記特定のユーザに属する個々のアクティブコードは、次に示す式による集合Aで表されるパケットであって、かつ当該アクティブネットワーク実行環境を備えた通信装置(ノード)によって受信されたパケットに対してアクセスする権限を持つ。すなわち、

$$A = \{ (s, d) \in [(O \times I) \cup (I \times O)] \mid s \neq d \}$$

である。つまり、この式が意味するところの概略は、特定のユーザに属するアクティブコードは、当該ユーザが所有する全てのIPアドレスのいずれかを送信元または宛先のアドレスとするようなパケットに対してアクセス権を有するということである。

【0070】当該ユーザに属するn個のアクティブコードがある通信装置(ノード)に格納されているとき、i番目($1 \leq i \leq n$)のアクティブコードは、集合C(i) ($C(i) \subseteq A$)に属するパケットをキャプチャして処理することをアクティブネットワーク実行環境に対して予め要求しておく。つまり、当該ユーザに関して、アクティブネットワーク実行環境は、 $c(1) \cup c(2) \cup \dots \cup c(n)$ なる和集合の要素であるパケット(s, d)によって起動されるものであり、このようなパケットを「アクティブパケット」と呼ぶこ

とができる。

【0071】図11は、図10に示した転送先テーブル記憶部7022に記憶されている転送先テーブルの一例を示す概略図である。上記のフレームワークを実現するために必要な情報は、このような転送先テーブルに格納することが可能である。

【0072】図11に示すように、転送先テーブルは、タイプ(Type)と宛先アドレス(Destination)と送信元アドレス(Source)と転送先(Send to)の各項目を含んでいる。タイプの項目は、テーブルのエントリーのタイプを表わすものであり、「アクティブ(Active)」あるいは「通常(Regular)」のいずれかの値をとる。宛先アドレスおよび送信元アドレスの項目は、転送対象の packets の宛先IPアドレスおよび送信元IPアドレスにそれぞれ対応するものである。転送先の項目は、宛先アドレスと送信元アドレスの組み合わせがマッチした packets に関して、適用すべきアクティブコードの識別情報あるいは転送先の通信装置のIPアドレスを表わすものである。

【0073】タイプの値が「アクティブ」であるエントリーは、対象の packets に適用するアクティブコードを指定するものであり、その転送先の項目にはアクティブコードを識別する情報が書かれている。タイプの値が「通常」であるエントリーは、対象の packets の転送先の通信装置のアドレスを指定するものであり、その転送先の項目には転送先の通信装置のIPアドレスが書かれている。

【0074】図11に示す転送先テーブルの例において、第1のエントリーでは、タイプが「アクティブ」であり、宛先アドレスが「1. 2. 3. 4」であり、送信元アドレスが「Any(何でもよい)」であり、転送先が「アクティブコードA」となっている。これは、送信元アドレスがいかなるアドレスであっても、宛先アドレスが「1. 2. 3. 4」にマッチする場合には、該当する packets をトリガーとしてアクティブネットワーク実行環境が起動され、アクティブコードAが実行されることを表わしている。また、第2のエントリーでは、タイプが「アクティブ」であり、宛先アドレスが「10. 50. 0. 0」であり、送信元アドレスが「11. 12. 13. 14」であり、転送先が「アクティブコードB」となっている。これは、宛先アドレスと送信元アドレスの両方がそれぞれ上記の値にマッチした場合には、該当する packets をトリガーとしてアクティブネットワーク実行環境が起動され、アクティブコードBが実行されることを表わしている。また、第3のエントリーでは、タイプが「アクティブ」であり、宛先アドレスが「Any(何でもよい)」であり、送信元アドレスが「157. 2. 3. 0」であり、転送先が「アクティブコードC」となっている。これは、宛先アドレスがいかなるアドレスであっても、送信元アドレスが「157. 2. 3.

0」にマッチする場合には該当する packets をトリガーとしてアクティブネットワーク実行環境が起動され、アクティブコードCが実行されることを表している。

【0075】なお、図11に示すように、転送先テーブルにおいては、タイプが「アクティブ」であるエントリーのほうが、タイプが「通常」であるエントリーよりも上に存在している。そして、タイプが「アクティブ」であるエントリーのほうが、タイプが「通常」であるエントリーよりも優先的に適用される。また、各エントリーは、通信装置へ到着した packets のみに対して適用され、転送のために送出される packets に対しては適用されない。

【0076】以上説明した通信装置の構成をまとめる。図10に示したインタフェース部は、通信線毎に設けられており、当該通信線から到着する packets を受信するとともに当該通信線に対して packets を送出する処理を行う。また、転送先テーブル記憶部は、 packets の送信元アドレスまたは宛先アドレスまたはそれら両方のアドレスのパターンと、該パターンに対応するプログラム(アクティブコード)の情報あるいは該パターンに対応する転送先アドレスの情報とが登録された転送先テーブルを記憶する。また、アクティブネットワーク実行環境は、前記プログラムを予め記憶しているとともに、このプログラムを実行する。また、転送処理部は、通信線から到着した受信 packets を前記インタフェース部から渡された際に、当該受信 packets の送信元アドレスまたは宛先アドレスに基づいて前記転送先テーブルを参照し、前記転送先テーブルに当該受信 packets のアドレスのパターンに対応する転送先アドレスの情報が登録されていた場合には当該受信 packets を所定の転送先アドレスに向けて送出するように当該転送先アドレスに対応したインタフェース部に渡すとともに、前記転送先テーブルに当該受信 packets のアドレスのパターンに対応するプログラムの情報が登録されていた場合には前記アクティブネットワーク実行環境部において当該プログラムを起動させるとともに当該プログラムに当該受信 packets を渡す。

【0077】次に、本実施形態におけるアクティブコードのセキュリティに関するモデルについて説明する。このセキュリティのモデルは、各々のアクティブコードが、アクティブコードの所有者に関わる packets のみに対して作用することを保証するためのものである。そのために、このセキュリティのモデルは、公開鍵のインフラストラクチャの存在を前提として、それを利用することとする。

【0078】図12は、上記のセキュリティモデルとそのモデルにおける処理の手順を示す概略図である。図12において、符号7051はユーザAのユーザ端末装置、7061は認証局(Certification Authority)装置である。この認証局の機能は、公の機関によって提供

されるものであっても良いし、あるいはISP (Internet Service Provider, インターネット接続サービス提供者) などによって提供されるものであっても良い。なお、図12に示す例では、ユーザ端末装置7051のIPアドレスは「1. 2. 3. 4」である。以下では、ユーザAが、アクティブコードAを通信装置7001に登録するための処理の手順を説明する。なお、以下において、ユーザAはアクティブコードAの開発者であっても良いが、その必然性はなく、他の開発者が開発したアクティブコードAをユーザAが入手し、それを通信装置7001に登録するものでも良い。

【0079】まず(1)で示すように、ユーザAのユーザ端末装置7051は、周知技術を用いて鍵のペアすなわち公開鍵と秘密鍵とを生成する。そして(2)で示すように、ユーザ端末装置7051は、上で生成された公開鍵を認証局装置7061に登録する。このとき、認証局装置7061は、ユーザ端末装置7051のIPアドレスを検証する。この検証が正しく行なわれると、公開鍵そのものと、ユーザAを識別するための情報と、ユーザ端末装置7051のIPアドレス「1. 2. 3. 4」が認証局装置7061に記憶される。

【0080】次に(3)で示すように、ユーザ端末装置7051は、上で生成された秘密鍵を用いてアクティブコードAに電子署名する処理を行う。そして(4)で示すように、ユーザ端末装置7051は、秘密鍵で署名されたアクティブコードAを通信装置7001に登録する処理を行う。

【0081】これを受けて通信装置7001は、(5)で示すように、アクティブコードAの登録を行ったユーザAの電子証明書を認証局装置7061から取得する。この電子証明書には、ユーザAを識別する情報と、そのIPアドレス「1. 2. 3. 4」と、上の(2)において登録された公開鍵そのものとが含まれている。そして(6)で示すように、通信装置7001は、上記の電子証明書から取り出したユーザAの公開鍵を用いて、上の(4)において登録されたアクティブコードAの電子署名を検証する。そして、これが正しく検証された場合には、通信装置7001は、アクティブコードAをアクティブネットワーク実行環境に導入する処理を行う。また、これに応じて、転送先テーブルに必要なエントリが追加される。

【0082】なお、この(1)および(2)の処理が行われて一旦ユーザAの公開鍵が認証局装置7061に登録されると、ユーザ端末装置7051はその公開鍵に対応する秘密鍵を用いてアクティブモジュールをいくつでも通信装置7001に登録することも可能である。

【0083】つまり、通信装置7001は登録部(図示せず)を備えており、この登録部は、ユーザの端末装置から当該ユーザの秘密鍵で電子署名されたプログラムを受信し、当該ユーザの電子証明書を認証局装置から受信

し、受信した電子証明書に含まれる当該ユーザの公開鍵を用いて前記電子署名されたプログラムの検証を行い、この検証が成功した場合には当該プログラムに対応するアドレスのパターンと当該プログラムの情報とを前記転送先テーブルに登録し、この検証が失敗した場合には当該プログラムの情報の前記転送先テーブルへの登録は行わないようにするものである。

【0084】なお、上で説明した通信装置へのアクティブコードの登録の手順が有効に機能するためには、次の2点が前提となる。第1の前提として、ユーザがどの通信装置(ノード)にアクティブコードを登録すれば良いかは事前にわかっている。あるいは、どの通信装置(ノード)にアクティブコードを登録すればよいか分かるためのディレクトリサービスが提供されている。第2の前提として、通信装置(ノード)は、目的の認証局の公開鍵を事前にオフラインで取得しているか、他の認証局から取得するか、あるいは他の何らかの手段で取得できる。

【0085】次に、矛盾の解消のための制御について説明する。ある通信装置(ノード)において、 n 個のアクティブコードが登録されており、 i 番目($1 \leq i \leq n$)と j 番目($1 \leq j \leq n$)のアクティブコードが、それぞれ集合 $C(i)$ ($C(i) \subseteq A$)と集合 $C(j)$ ($C(j) \subseteq A$)に属するパケットに対するものであると定義されているとき、集合 $(C(i) \cap C(j))$ が空集合ではないような i および j の組み合わせ(但し $i \neq j$)が存在する場合があります。つまり、あるパケットが i 番目のアクティブコードにも j 番目のアクティブコードにも適用されるような定義が行われている場合である。このような矛盾は、次の2通りのシナリオのいずれかによって解消することとする。

【0086】第1の矛盾の解消のシナリオは、パケット (s, d) に関して、

$$(s \in O(k) \wedge d \in O(l)) \wedge (k \neq l)$$

であるために、

$$(s, d) \in C(i) \cap C(j)$$

となる場合に関するものである。但し、 $O(k)$ および $O(l)$ は、それぞれユーザ k および l によって所有されるIPアドレスの集合である。つまり、あるパケットに関して、送信元のユーザ用のアクティブコードと宛先のユーザ用のアクティブコードとの両方が通信装置に登録されており、そのような通信装置にこのパケット (s, d) が到着した場合である。このような場合には、宛先のユーザのアクティブコードを優先的に適用することが望ましいと考えられる。

【0087】つまり、転送先テーブルに登録されているパターンに、送信元アドレスのみが指定されていて宛先アドレスが何でもよいとされている第1のエントリーと、宛先アドレスのみが指定されていて送信元アドレスが何でもよいとされている第2のエントリーとが含まれ

10

20

30

40

50

ており、受信パケットがこれら第1のエントリーと第2のエントリーとの両方にマッチしたときには、第1のエントリーよりも第2のエントリーを優先させて、当該第2のエントリーのパターンに対応するプログラムを起動するようにする。

【0088】このように、送信元のユーザのアクティブコードよりも宛先のユーザのアクティブコードを優先させることは、アクティブネットワークの機能を用いてDDoS（分散型DoS, Distributed Denial of Service）攻撃を防御するメカニズムを構築する場合に特に重要となる。そのようにすることによって、宛先のユーザつまり被攻撃者となり得る者のアクティブコードが、攻撃者となる可能性があるもののアクティブコードよりも優先されるためである。

【0089】第2の矛盾の解消のシナリオは、あるパケット（s, d）に関して適用されるべき2つ以上のアクティブコードが同一のユーザによって登録されている場合に関するものである。このような場合には、該当するアクティブコードのうちの最も古く登録されたものが、他のものよりも優先的に適用されるようにすることが望ましいと考えられる。こうすることにより、ユーザが新しいアクティブコードを登録しようとする際には、新しいアクティブコードを有効にするために事前に古いアクティブコードを削除することが保証されるからである。

【0090】次に、これまでに述べたようなアクティブネットワークのノードとして機能する通信装置のインプリメンテーションの例について説明する。図13は、Linux上のJava（登録商標）仮想マシン（JVM）を用いてアクティブパケットの処理を行う通信装置を実現した場合の概略図である。

【0091】図13に示す例では、専用のIPスタックを処理（process）の一部として構築している。これによって、図11に示したような転送先テーブルを実現し、実行環境（アクティブネットワーク実行環境）からこの転送先テーブルにエントリーの追加や削除を行えるようにしている。また、これに伴い、カーネル（kernel）内のIPスタックは不要となるため、カーネルにおけるルーティングを不活性化している。そして、到着パケットのコピーがデータリンク部分から作成され、そのパケットがライブラリlibpcapを通してJava（登録商標）仮想マシンで補足できるようにしている。

【0092】処理の一部として構築した専用のIPスタックは、アクティブパケット、つまり転送先テーブル上の所定の定義にマッチするIPアドレス（宛先IPアドレス、送信元IPアドレス、あるいはそれらの組み合わせ）を有するパケットは、実行環境上で起動されるアクティブコードに対して渡される。一方、アクティブパケット以外の通常のパケットは、カーネルにおけるIPスタックと同様の方法で隣接する通信装置等へ向けた転送が行われる。アクティブパケットであれ通常パケットで

あれ、この通信装置から送出されるすべてのパケットは、ライブラリlibnetを通して送出される。こうすることにより、各々処理されたパケットのヘッダに記録された送信元アドレスは、元々の送信元アドレスのままの状態、ネットワークに送出されることとなる。

【0093】また、標準のJava（登録商標）のAPI（アプリケーションプログラムインタフェース）である「java.security」を用いることによってセキュリティモデルをインプリメンテーションすることが可能である。この標準APIは、セキュリティモデルを構築するために必要な機能のほとんどを提供している。また、証明書のための形式としては「X.509」証明書形式を用いることが可能であり、アクティブコードの所有者のIPアドレスを「X.509」の識別名（DN, distinguished name）の一部に含めることにより、本実施形態のセキュリティモデルを実現することができる。

【0094】なお、言うまでもなく、上記インプリメンテーションではコンピュータシステムを用いることによってアクティブネットワーク実行環境を備えた通信装置を構築している。そして、上述した一連の処理、すなわち到着パケットの複製の作成とその捕捉や、転送先テーブルを参照しながらのアクティブパケットおよび通常パケットの転送の処理や、アクティブネットワーク実行環境上でのアクティブコードの起動とその処理の実行や、処理されたパケットのネットワークへの送出などの各処理の過程は、プログラムの形式でコンピュータ読み取り可能な記録媒体に記憶されており、このプログラムをコンピュータが読み出して実行することによって、上記処理が行われる。ここでコンピュータ読み取り可能な記録媒体とは、磁気ディスク、光磁気ディスク、CD-ROM、DVD-ROM、半導体メモリ等をいう。また、このコンピュータプログラムを通信回線によってコンピュータに配信し、この配信を受けたコンピュータが当該プログラムを実行するようにしても良い。

【0095】以上、図面を参照してこの発明の実施形態を詳述してきたが、具体的な構成はこれらの実施形態に限られるものではなく、この発明の要旨を逸脱しない範囲の設計等も含まれる。例えば、上記実施形態ではインターネットプロトコルの使用を前提として通信アドレスを4バイトのIPアドレスとして書き表したが、より多いバイト数のアドレスを用いる次世代のIPや、まったく異なる他のプロトコルを用いる通信ネットワークにも本発明を適用することができる。

【0096】

【発明の効果】以上説明したように、この発明によれば、シールド通信装置が、到着する通信パケットを分析する分析処理を行い、この分析処理の結果に応じて当該通信パケットが前記防御対象コンピュータに対する攻撃の通信パケットである可能性に応じて当該通信パケットの優先度を決定してこの優先度に応じて当該通信パケッ

トを転送先に転送するようにしている。このため、従来技術において攻撃のパケットであるか否かを二値的に判断して処理していたのに比べると、攻撃下において正常な通信パケットが届きにくくなるというダメージを最小化することができる。また、攻撃のパケットであるかどうかを確定できない段階においても、疑わしい通信パケットが占めるの帯域を段階的に絞っていくことができる。

【0097】また、この発明によれば、境界通信装置から最も遠い位置にあるシールド通信装置との間の接続の段数として2以上を許容しているため、つまりシールド通信装置の段数（深さ）を2以上にできるため、防御の処理の負荷を分散させることができるとともに、より攻撃元に近い位置で防御を行うため、下流側の通信線の帯域を浪費せずに有効に使うことができる。

【0098】また、この発明によれば、攻撃が検出されたときに、シールド通信装置からより上流へプローブの機能を段階的に移動させていくため、より攻撃元に近い場所での防御が可能となる。これにより、下流側の通信線の帯域を有効に使うことができるとともに、攻撃元に

関する証拠情報を収集する処理を行うことができる。

【0099】また、この発明によれば、プローブの処理として、宛先アドレスが防御対象コンピュータのアドレスである通信パケットを捕捉し、当該通信パケットの送信元アドレスが予め得られた攻撃元のアドレスと同一である場合には当該通信パケットが攻撃のパケットであると判定するようにしているため、実施形態の説明に記載したA型のDDoS攻撃を防御することができる。

【0100】また、この発明によれば、プローブの処理として、宛先アドレスあるいは送信元アドレスの少なくともいずれか一方が前記防御対象コンピュータのアドレスである通信パケットを捕捉し、当該通信パケットの送信元アドレスが防御対象コンピュータのアドレスであって且つ当該通信パケットの宛先アドレスが前記攻撃元アドレスのブロードキャストアドレスである場合にもこの通信パケットが攻撃のパケットであると判定するため、実施形態の説明に記載したB型のDDoS攻撃を防御することができる。

【0101】また、この発明によれば、動的検査を導入したことにより、従来技術では検知できなかった攻撃も検知して防御できるようになった。

【図面の簡単な説明】

【図1】 この発明の一実施形態が前提とするネットワークの構成である。

【図2】 同実施形態による通信装置の内部の構成を示すブロック図である。

【図3】 同実施形態による防御のしくみを示す論理的概略図である。

【図4】 同実施形態のシールドモジュールによる通信パケットのクラス分けの処理の概要を示す概略図である。

【図5】 同実施形態によるシールドモジュールが動的検査を行う場合に用いる送信元IPアドレスの分布状況を示すグラフであり、(a)は正常時の分布、(b)は攻撃を受けているときの分布の一例を示す。

【図6】 A型のDDoS攻撃を示す概略図である。

【図7】 B型のDDoS攻撃を示す概略図である。

【図8】 本発明の一実施形態により、A型のDDoS攻撃に対応するためのプローブのアルゴリズムを記述した擬似プログラムコードである。

【図9】 同実施形態により、B型のDDoS攻撃に対応するためのプローブのアルゴリズムを記述した擬似プログラムコードである。

【図10】 同実施形態による通信装置内部の構成を示すブロック図である。

【図11】 同実施形態による転送先テーブル記憶部に記憶されている転送先テーブルの一例を示す概略図である。

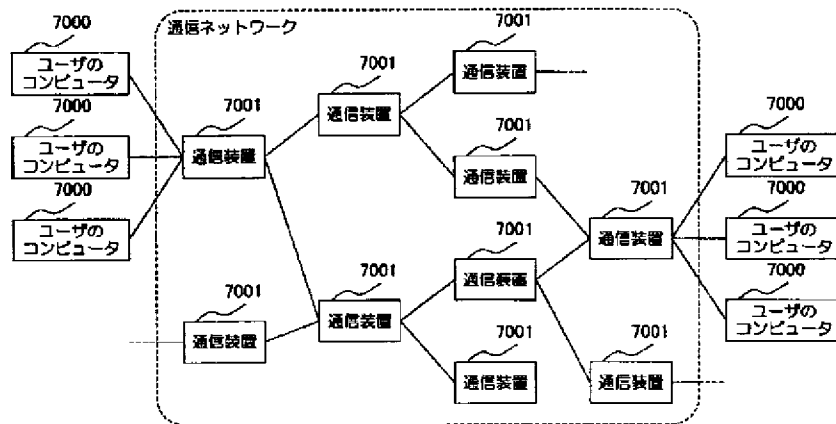
【図12】 同実施形態によるセキュリティモデルとそのモデルにおける処理の手順を示す概略図である。

【図13】 同実施形態の通信装置をLinux上のJava（登録商標）仮想マシン（JVM）を用いてアクティブパケットの処理を行うように実現した場合の概略図である。

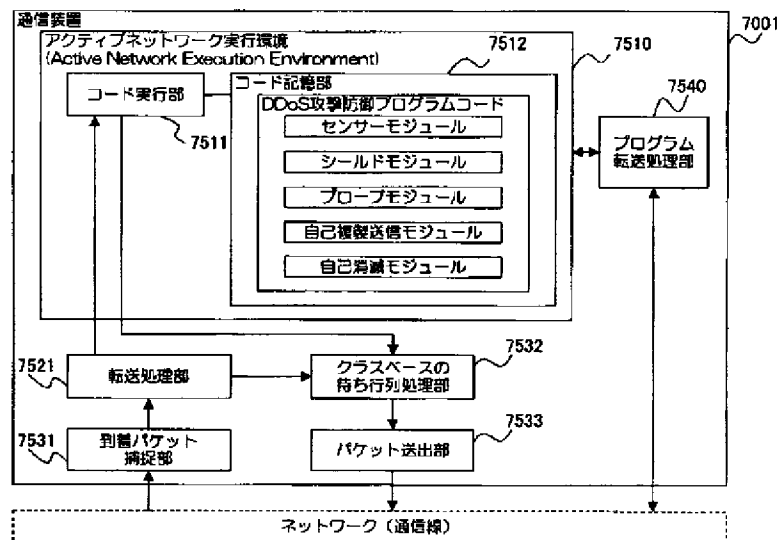
【符号の説明】

7000 ユーザのコンピュータ
 7001 通信装置
 7010 アクティブネットワーク実行環境
 7011 コード実行部
 7012 コード記憶部
 7021 転送処理部
 7022 転送先テーブル記憶部
 7023a、7023b、・・・・・・ インタフェース部
 7024a、7024b、・・・・・・ 通信線
 7051 ユーザ端末装置
 7061 認証局装置
 7510 アクティブネットワーク実行環境
 7511 コード実行部
 7512 コード記憶部
 7521 転送処理部
 7531 到着パケット捕捉部
 7532 クラスベースの待ち行列処理部
 7533 パケット送出部
 7540 プログラム転送処理部

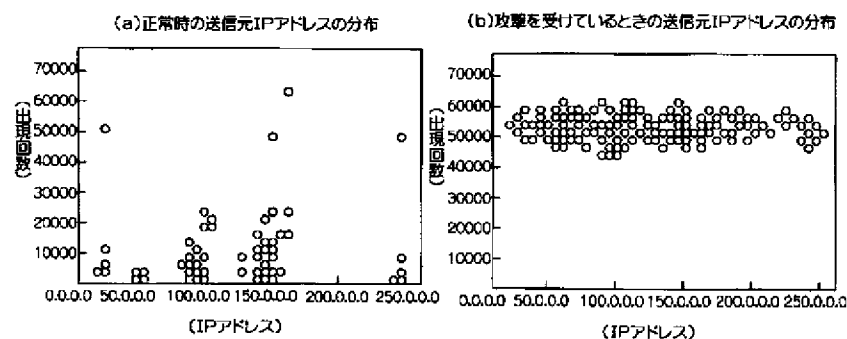
【図1】



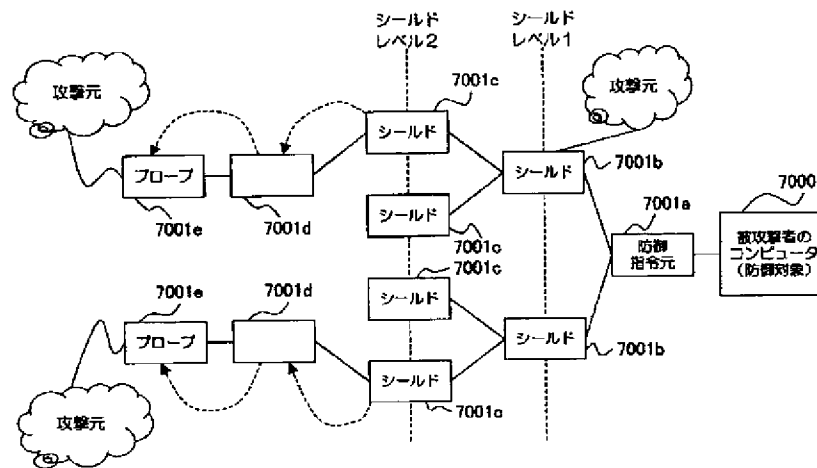
【図2】



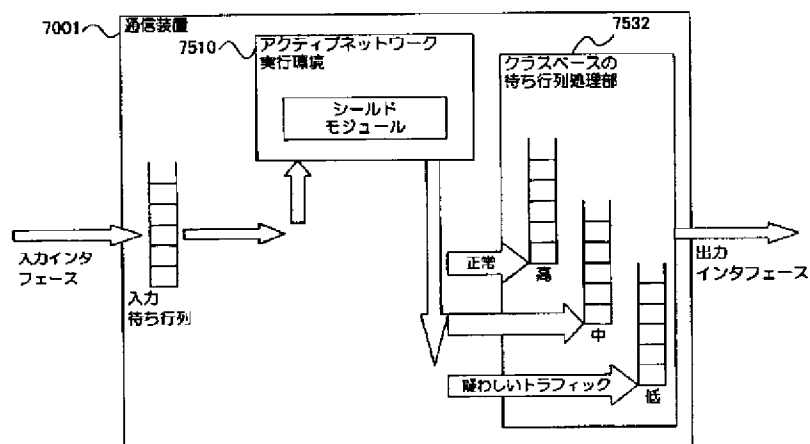
【図5】



【図3】

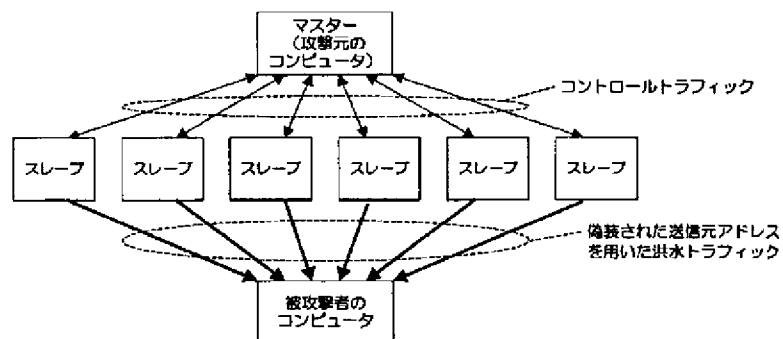


【図4】



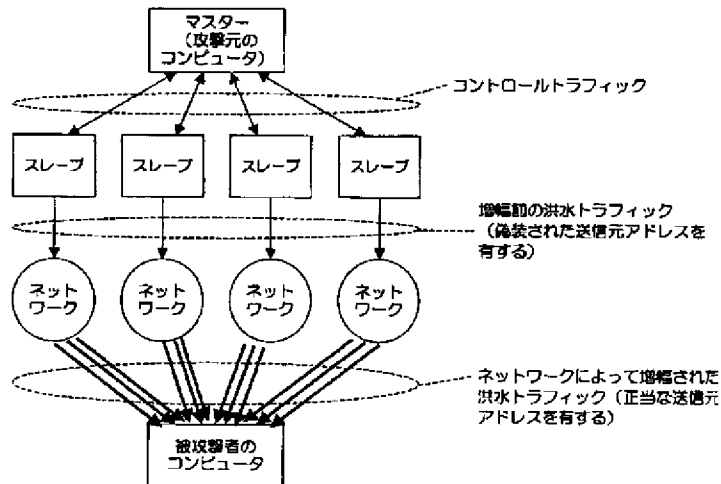
【図6】

A型のDDoS攻撃



【図7】

B型のDDoS攻撃



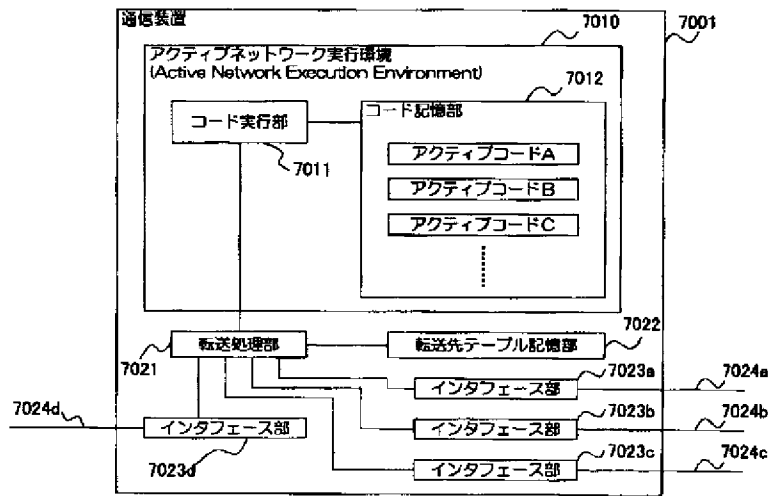
【図8】

```
//Arriving at a new node u
1. explored ← false
2. do
3.   p ← capturePacketByDest(victim's IP)
4.   if p.src=attSrc then
5.     discard(p)
6.   if !explored
7.     for each v∈Adjacent[u]
8.       if !(v∈predecessor[u]) then
9.         dispatch a replicate of probe to v
10.  else releasePacket(p)
11. while (p≠NIL) and (!idleTimeOut)
12. self-destruct
```

【図9】

```
//Arriving at a new node u
1. explored ← false
2. do
3.   p ← capturePacketAssociatedWith(victim's IP)
4.   if (p.src=attSrc) or
      ((p.src=victim's IP) and (p.dest=attSrc's broadcast))
      then
5.     discard(p)
6.   if !explored
7.     for each v∈Adjacent[u]
8.       if !(v∈predecessor[u]) then
9.         dispatch a replicate of probe to v
10.  else releasePacket(p)
11. while (p≠NIL) and (!idleTimeOut)
12. self-destruct
```

【図10】

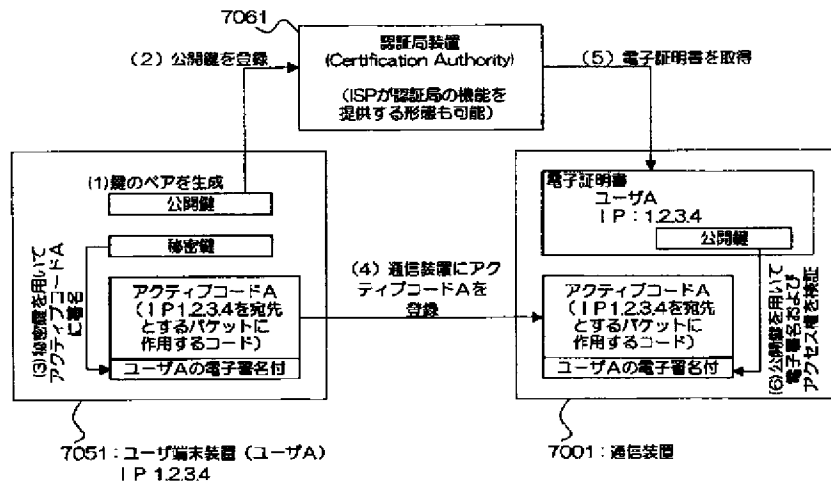


【図11】

転送先テーブル

タイプ (Type)	宛先アドレス (Destination)	送信元アドレス (Source)	転送先 (Send to)
アクティブ (Active)	1.2.3.4	Any	アクティブコードA
アクティブ	10.50.0.0	11.12.13.14	アクティブコードB
アクティブ	Any	157.23.0	アクティブコードC
通常 (Regular)	12.0.0	N/A	29.15.20.1
通常	11.200.0	N/A	109.1.1.10
通常	199.1.1.0	N/A	120.0.0.1
...

【図12】



【図13】

